

サービス用移動ロボットのための走行制御システムの開発

吉富秀樹*1、秋山貴樹*2、加藤 圭*3、道廣慎二*4

Development of Motion Control System for Wheel-type Service Robot

Hideki YOSHITOMI*1, Takaki AKIYAMA*2, Kei KATO*3, Shinji MITIHIRO*4

This paper describes a motion control system of self-contained mobile robot for service use in office building. In this development, trajectory tracking and obstacle avoidance are assigned to the robot as the fundamental and essential tasks. As the trajectory tracking algorithm, fuzzy reasoning is used, and the obstacle avoidance system is constructed with ultrasonic sensor, infrared sensor and bumper switch. This control system is operated by decentralized microcomputer system using hierarchical control architecture. Numerical simulation was performed to analyze the controllability of this system, and the simulation results gave important information for membership functions of the fuzzy rule. The experiments were also carried out to verify the simulation results using a self-contained mobile robot. The experimental results show that the proposed system is effective for motion control of the service robot.

1. まえがき

近年、ロボットは様々な分野で注目されており、工場内における産業用ロボットのみならず、我々の身近で日常的な作業を行うサービス用ロボットに対しても関心が高まっている。例えば、高齢化社会に対応するための介護支援ロボット⁽¹⁾、人間に代わって掃除をする清掃ロボット⁽²⁾⁽³⁾、農作業を代行する農業用ロボット⁽⁴⁾など多くの分野で研究が行われている。このようなロボットは一般的に移動機能を有しており、自律的な走行制御技術が必要である。

移動ロボットの走行制御技術については、従来から種々の面から研究が行われている。簡便な方法としては、車輪に付けたロータリエンコーダなどの内界センサでロボットの位置を測定するというデッドレコニングの手法が用いられるが、車輪のスリップなどのため精度の面で問題が残されている⁽⁵⁾。また、環境地図情報を予めロボットにインプットしておき、ランドマークなどの外界情報から自己位置を認識する方法⁽⁶⁾もあるが、大量の画像情報を実時間内に処理するためには高速で高級なコンピュータが必要でありコストが高くなる。

我々はまず、学校やオフィスビルなどにおいて、廊下を清掃したり書類を搬送するなどの比較的単純な作業をロボッ

トに代行させることを目的として、超音波センサなどの外界センサや低コストの8ビットマイコンを利用して、壁から一定距離離れた目標経路に沿って走行し、経路上に存在する障害物に対して所定の対応動作を実現するという走行制御技術の研究開発に着手した。

本研究開発の中核をなす経路追従制御のアルゴリズムは、複雑な演算やメモリ容量が少なくすみ、マイコンの負荷を軽減できるファジィ推論法⁽⁷⁾を用いた。システム面では、主要なタスク毎に専用のマイコンを設置し、分散処理を行うことによって高速化を図り、8ビットのマイコンながらリアルタイム処理が行えるようにした。また、分散処理された各種動作命令は互いに衝突しないよう優先順位を付け、命令処理システムを階層的制御構造にしている。この制御システムを実験用移動ロボットに実装し走行実験を行ったところ所定の動作を実現できたので、以下に本研究開発で得られた成果ならびに知見について報告する。

2. サービス用移動ロボットの概要

まず、本論文で述べているサービス用移動ロボットの概要を説明する。ロボットの基本的な構成を図1に示す。走行は車輪で行うが、駆動輪を左右に一輪づつ配置し、それぞれ独立したモータで回し、左右の車輪の回転速度を変えることによって曲がることができる。

位置計測システムとしては、ロボットの左側面に2組の超音波センサを設置し、これによって壁までの距離とロボットの向き（以下、姿勢角と言う）を知ることができる。また、環境認識システムとして、前方に超音波センサと赤外

*1機械工学科

*2機械工学科平成9年度卒業 現在、(株)サノヤス・ヒシノ 明昌

*3機械工学科平成9年度卒業 現在、豊橋技術科学大学

*4機械工学科平成9年度卒業 現在、日本電信電話(株)

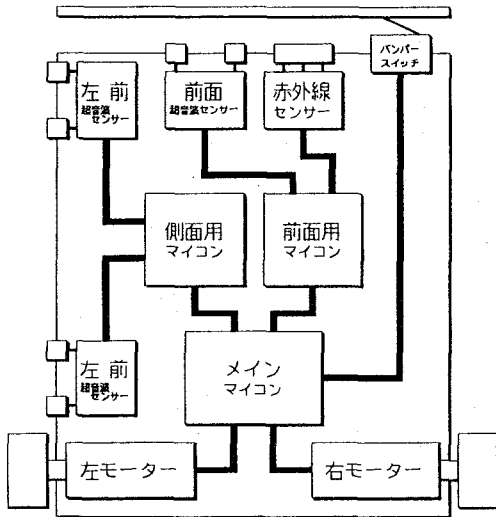


図1 サービス用移動ロボットの基本構成

線センサを備え、走行経路上の障害物を検知する。赤外線センサは、人間を識別するためのものである。さらに、最前部にはバンパースイッチを備え、万が一の衝突を検知する。分散処理システムは、側面の超音波センサからデータを取得しファジィ推論を行う側面用マイコン、前方の超音波センサと赤外線センサからの情報を処理する前面用マイコン、およびこれらのマイコンからの情報を管理統合し、左右の車輪のモータの回転を直接制御するメインマイコンから構成されている。

3. 超音波センサの特性実験

3.1 超音波センサ

本研究開発で用いた超音波センサの距離測定原理図を図2に示す。超音波センサの測定原理は、超音波を放射してから反射波が戻ってくるまでの時間（以下、反射時間と言う）を計測することによって距離を測定する。すなわち、反射時間を T 、反射角を θ とすると距離 L は次式で求められる。

$$L = cT \cos \theta / 2 \quad (1)$$

但し、 c は超音波の伝播速度であり、気温 t の空気中では

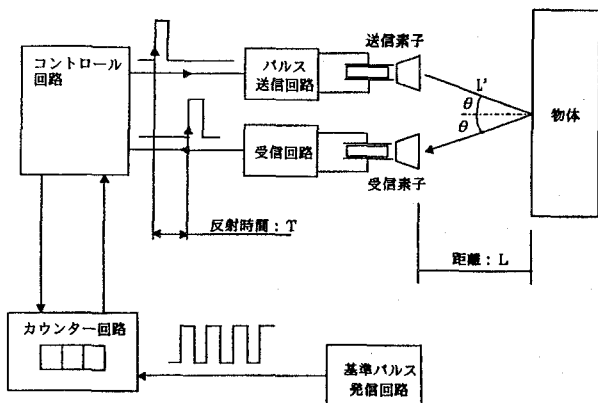


図2 超音波センサの距離測定原理図⁽⁸⁾

次式で与えられる。

$$c = 331.5 + 0.607 t \quad (2)$$

なお、今回使用した超音波センサは、超音波が送信されてから受信されるまでの間、基準パルスをカウントすることによって距離を求めている。すなわち、基準パルスの周期を超音波が1cmを往復するに要する時間に設定すれば（このことは、気温20℃では基準パルス周波数17.2kHzに相当する）、カウント数そのものがcm単位での距離を示すことになる。

3.2 壁に対する超音波センサの向きの影響

このロボットは、左側面の2個の超音波センサで壁からの距離を測るが、この超音波センサはロボットに固定されているため、ロボットの姿勢が変化すると壁に対するセンサの向きが変わる。特に、超音波センサの向きが壁の正面から大きく外れると、壁からの反射波が帰って来なくなり測定できなくなる。そこで、超音波センサが壁に対して斜めになったときの影響を実験的に調べた。

実験では、図3に示すように超音波センサを左右に広い壁に正対させ、壁からセンサ基準位置までを設定値 Y_0 とし、これを一定に保持したまま角度 θ を左右に10°間隔で変化させて測定値を読み取った。なお、センサの基準位置は発振素子と受信素子の中間点とした。図3の実験結果に示すように、測定可能範囲は $\theta = +35^\circ \sim -40^\circ$ であり、これを越えると測定できなくなることがわかった。したがって、ロボットの姿勢角は $\pm 35^\circ$ 以内に抑えることとした。

なお、斜めになると指示値は大きくなると思われたが、実際には $\theta = \pm 35^\circ$ 付近でも設定値 Y_0 より1~1.5cm程度大きい値を示すだけであつた。このことは、超音波センサの測定メカニズムが最初に反射してくる波をとらえるようになっているため、センサに近い壁の正面部分に当たった反射波が測定値として現れるためと考えられる。したがって、 θ が $\pm 35^\circ$ 以内であれば斜めになっても指示値の誤差は1~1.5cm程度である。

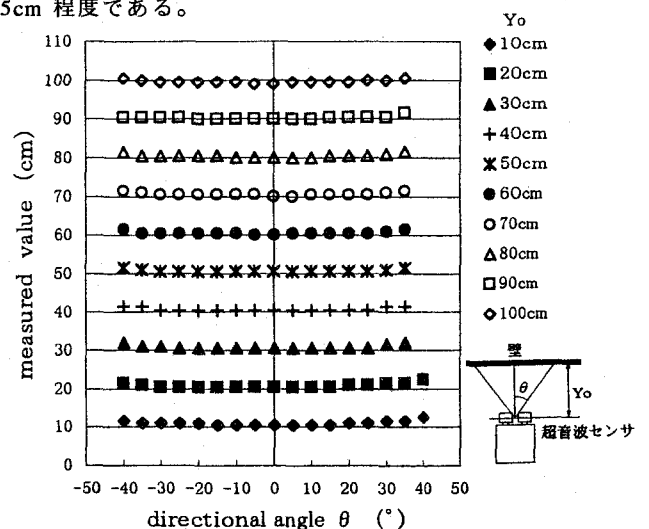


図3 超音波センサの壁に対する向きの影響

3.3 超音波センサの指向性

前記3.2節で示した特性は超音波センサ自体の指向性にも

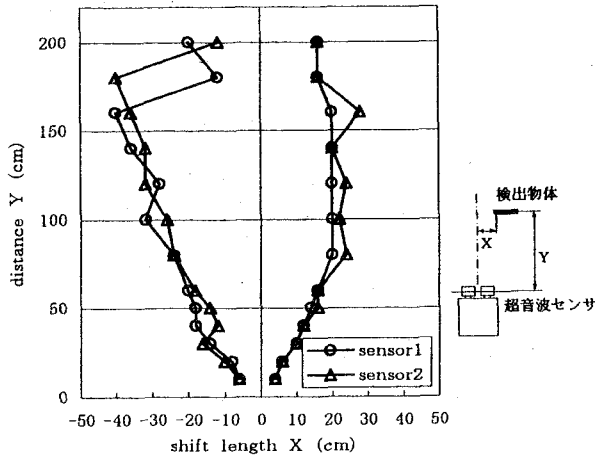


図4 超音波センサの指向性

依存するものと考えられる。そこで、超音波センサの指向性について実験した。実験は、図4に示すように検出物体として大きさ405mm×515mmの平板を、超音波センサの正面から左右へ移動させ、超音波センサが検知できなくなる限界点を求めた。図4の実験結果によると、検出可能範囲は、角度に換算して左右とも $15^{\circ} \sim 16^{\circ}$ となっており一般的なものである。

3.4 壁の段差に対する超音波センサの反応

廊下を壁伝いに走行する場合を考えると、壁には柱などの段差が存在する。この段差に対する超音波センサの反応を調べた。実験は、図5に示すように壁の段差から超音波センサまでの距離 Y_0 を一定に保ったまま、右方から段差に近付いて行き、指示値の変化を読み取った。実験結果を図5に示す。図からわかるように、超音波センサは段差のエッジにくる前から段差を感知している。これは、壁から離れるほど早めに感知する傾向であり、壁の段差からの距離が100cmの位置（図中で◇マーク）では、段差のエッジの約35cm前から指示値に変化が現れている。

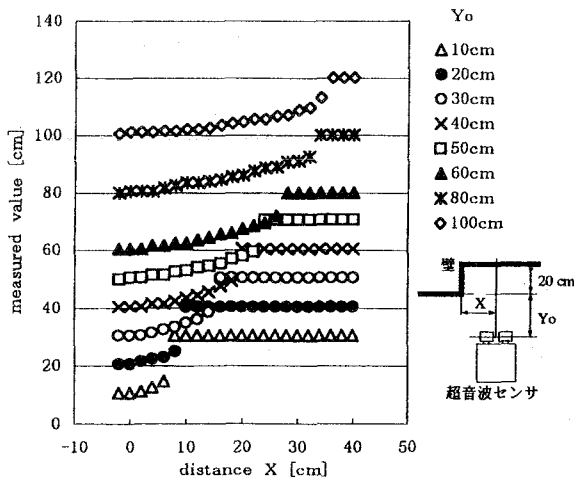


図5 壁の段差に対する超音波センサの指示値

4. 走行制御アルゴリズム

4.1 移動ロボットの運動学的解析

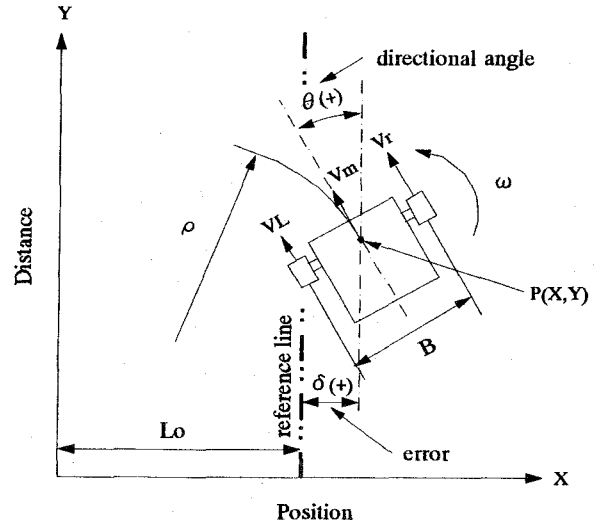


図6 ロボットの運動の解析モデル

左右独立の車輪の速度を変えて操舵するタイプの移動ロボットの運動を解析する。解析モデルを図6に示す。壁に垂直な方向にX軸をとり、壁に平衡にY軸をとる。ロボットはX-Y平面上を走行するとする。時刻 t における右車輪速度を $V_R(t)$ 、左車輪速度を $V_L(t)$ 、左右の車輪間距離を B 、ロボットの姿勢角を $\theta(t)$ 、ロボットの旋回角速度を $\omega(t)$ 、旋回の曲率半径を $\rho(t)$ とする。また、ロボット中心の位置座標は左右の車輪の中間位置とし $P(X(t), Y(t))$ とする。

ロボット中心の速度 $V_m(t)$ は以下となる。

$$V_m(t) = \frac{V_R(t) + V_L(t)}{2} \quad (3)$$

また、曲率半径は次式より求められる。

$$\rho(t) = \frac{B(V_R(t) + V_L(t))}{2(V_R(t) - V_L(t))} \quad (4)$$

微小時間 Δt 間にロボットが $\Delta \theta$ だけ旋回したとすると、

$$\rho(t) \cdot \Delta \theta = V_m(t) \cdot \Delta t \quad (5)$$

が成り立つ。式(5)に、式(3)、式(4)を代入して整理すると次の式が求まる。

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = \omega(t) = \frac{V_R(t) - V_L(t)}{B} \quad (6)$$

これらの式から、ロボットの座標 $P(X(t), Y(t))$ および姿勢角度 $\theta(t)$ は以下のような関係となる。

$$X(t) = X_0 - \int V_m(t) \cdot \sin \theta(t) \cdot dt \quad (7)$$

$$Y(t) = Y_0 + \int V_m(t) \cdot \cos \theta(t) \cdot dt \quad (8)$$

$$\theta(t) = \theta_0 + \int \omega(t) \cdot dt \quad (9)$$

4.2 ON-OFF制御による走行制御

壁に沿って走行する制御方法として最も単純な方法は、目標経路から右にずれたら左にハンドルを切り、逆に左にずれたら右にハンドルを切るという方法であろう。そこで、これをON-OFF制御と称し、以下で述べるファジィ推論によ

る走行制御と比較する。ON-OFF制御の方法は簡単であり、サンプリング周期 Δt ごとに壁までの距離を測り、目標経路から片方にずれておればロボットの姿勢角 θ を $\Delta\theta$ だけ反対側に修正するというものである。したがって、図6のように目標経路からの偏差を δ とすれば、符号に注意して、

$$\Delta\theta = +a \quad \delta \geq 0 \quad (10)$$

$$\Delta\theta = -a \quad \delta \leq 0 \quad (11)$$

但し、 a は修正角度の大きさを表す数値となる。

4.3 ファジィ推論による走行制御

ファジィ制御規則は、目標経路からの偏差 $\delta(t)$ と姿勢角 $\theta(t)$ から決まるロボットの状態に対して、左右の車輪の修正速度 $\Delta V(t)$ を決定するもので、図7のような4つの規則を適用している。この制御規則の構造は菅野⁽⁷⁾の提案したものと同様であるが、ファジィ変数は本ロボット用にチューニングしてある。前件部である目標経路からの偏差 $\delta(t)$ のファジィ変数は2つで、ラベルはNEGATIVE、POSITIVEとしてある。また、姿勢角 $\theta(t)$ についてはファジィ変数は、LEFT、MIDDLE、RIGHTの3つとした。後件部となる左右車輪の修正速度 $\Delta V(t)$ については、左側を加速するL-ACCと、右側を加速するR-ACCの2つとした。

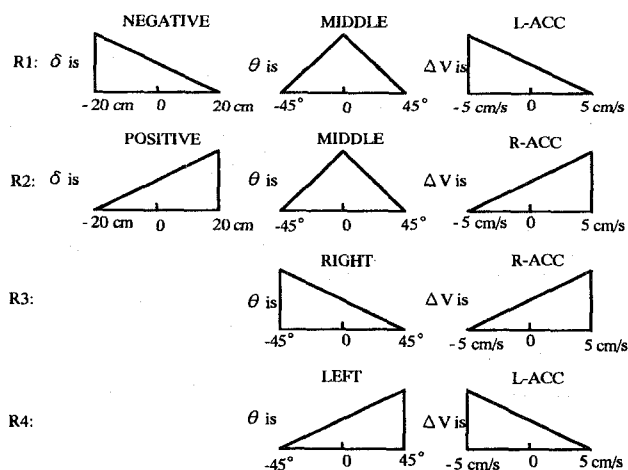


図7 ファジィ制御規則

これら4つの制御規則について以下に概要を説明する。制御規則の符号は図6のモデルに基づいており、例えば、ルール1の制御規則は、

R1: If δ =NEGATIVE and θ =MIDDLE then ΔV =L-ACC
と記述できるが、これは「ロボットが目標線の左側にあって、向きが正面なら、目標線に近づくよう左の車輪速度を上げ、右の車輪速度を下げる」ということを意味する。以下同様に、ルール2からルール4までの制御規則は以下のように記述される。

R2: If δ =POSITIVE and θ =MIDDLE then ΔV =R-ACC

R3: If θ =RIGHT then ΔV =R-ACC

R4: If θ =LEFT then ΔV =L-ACC

サンプリング毎に計測される δ と θ をファジィ制御器の入力 δ^0 、 θ^0 とすれば、4つの規則における適合度 μ_1 、

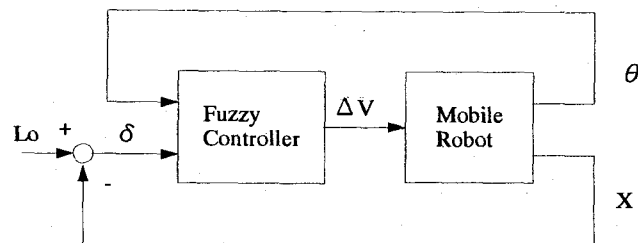


図8 ファジィ制御のブロック線図

μ_2 、 μ_3 、 μ_4 は、それぞれのメンバーシップ関数から

$$\mu_1 = \text{NEGATIVE}(\delta^0) \wedge \text{MIDDLE}(\theta^0)$$

$$\mu_2 = \text{POSITIVE}(\delta^0) \wedge \text{MIDDLE}(\theta^0)$$

$$\mu_3 = \text{RIGHT}(\theta^0)$$

$$\mu_4 = \text{LEFT}(\theta^0)$$

と求まる。

次に、制御則の後件部は

$$\mu_1 = \text{L-ACC}(\Delta V_1)$$

$$\mu_2 = \text{R-ACC}(\Delta V_2)$$

$$\mu_3 = \text{R-ACC}(\Delta V_3)$$

$$\mu_4 = \text{L-ACC}(\Delta V_4)$$

と表される。後件部では適合度 μ から修正速度 ΔV を求めることになるから、それぞれ逆関数で表現すれば、

$$\Delta V_1 = \text{L-ACC}^{-1}(\mu_1)$$

$$\Delta V_2 = \text{R-ACC}^{-1}(\mu_2)$$

$$\Delta V_3 = \text{R-ACC}^{-1}(\mu_3)$$

$$\Delta V_4 = \text{L-ACC}^{-1}(\mu_4)$$

となる。これらが、規則R1からR4までの推論結果となる。全体の推論結果 ΔV は、規則R1からR4までの適合度 μ_1 から μ_4 による重み付き平均を用いて

$$\Delta V = \frac{\mu_1 \cdot \Delta V_1 + \mu_2 \cdot \Delta V_2 + \mu_3 \cdot \Delta V_3 + \mu_4 \cdot \Delta V_4}{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4} \quad (12)$$

によって求めた。なお、サンプリング毎に出力される ΔV は零次ホールドした。

次に、ロボット中心の速度 V_m は一定速度を保持するものとしたので、ファジィ推論の結果として修正速度 ΔV が出力されると、右車輪速度 $V_r(t)$ 、左車輪速度 $V_l(t)$ はそれぞれ次式で与えられる。

$$V_r = V_m + \Delta V \quad (13)$$

$$V_l = V_m - \Delta V \quad (14)$$

このファジィ制御のブロック線図を図8に示す。

5. シミュレーション

制御性を考察するとともに、各種制御パラメータをチューニングするため走行制御シミュレーションを行った。シミュレーションのモデルは第4章で導いた運動方程式を用い、積分方法はオイラー法によった。また、ファジィ制御と比較するため4.2節で述べたON-OFF制御についてもシミュレー

ションした。まず、ON-OFF制御のシミュレーション結果から示す。

5. 1 ON-OFF制御の走行シミュレーション

目標経路を壁から50cmの位置としてON-OFF制御のシミュレーションを行った。ON-OFF制御では、左側面の2つの超音波センサのうち前側のセンサのみを使用した。

(a) 修正角度 $\Delta\theta$ の影響

サンプリング周期 Δt を1秒、初期位置を壁から70cmとして、サンプリング毎の修正角度 $\Delta\theta$ を 1° 、 5° 、 10° と変化させてシミュレーションを行ったときのロボットの走行経路を図9に示す。目標経路を中心として左右に蛇行しており、ON-OFF制御の特徴が出ている。また、 $\Delta\theta$ が 5° の場合には発散する傾向を示している。

(b) サンプリング周期 Δt の影響

修正角度 $\Delta\theta$ を 5° として、サンプリング周期 Δt を0.5秒、1秒、5秒としたときのシミュレーション結果を図10に示す。このときにも、左右に蛇行している。また、サンプリング周期が長くなるにつれて、目標線に到達するまでの走行距離も長くなる傾向となっている。

以上の結果から、例えばサンプリング周期 Δt を0.5秒、修正角度 $\Delta\theta$ を 1° のように設定すれば一応走行可能であるが、経路は振動的に蛇行しており、ON-OFF制御ではサービス用移動ロボットの走行制御としては十分とは言えない。

5. 2 ファジィ推論による走行制御シミュレーション

目標経路をON-OFF制御と同様に壁から50cmの位置として、ファジィ推論による走行制御シミュレーションを行った。

(a) メンバーシップ関数のチューニング

シミュレーションによってメンバーシップ関数のチューニングを行った。チューニングの評価基準は、目標経路に早く収束することと、ロボットの姿勢角が超音波センサの測定可能範囲である $\pm 35^\circ$ を越えないことである。ここでは、一例として図7の姿勢角 θ のメンバーシップ関数のチューニング結果を示す。メンバーシップ関数の三角形の裾野の値 θ_s を 30° 、 45° 、 90° と変化させたときのシミュレーション結果を図11に示す。目標経路には 90° のときが最も早く到達するが経路がやや振動的であるため、本研究では 45° を採用した。このようなチューニング結果として、図7のようにメンバーシップ関数の形を定めた。

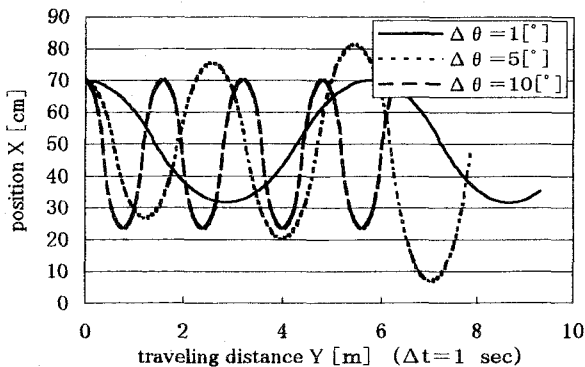


図9 ON-OFF制御における修正角度 $\Delta\theta$ の影響

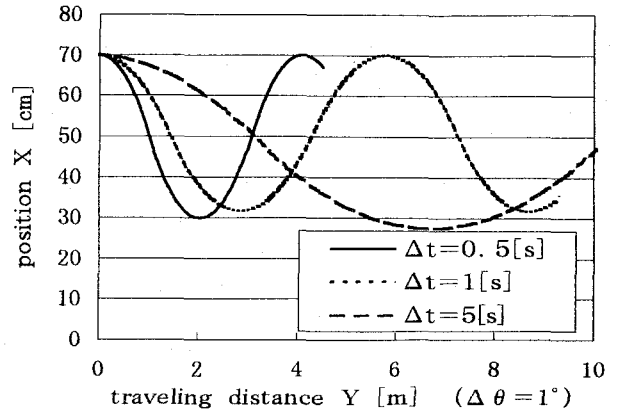


図10 ON-OFF制御におけるサンプリング周期 Δt の影響

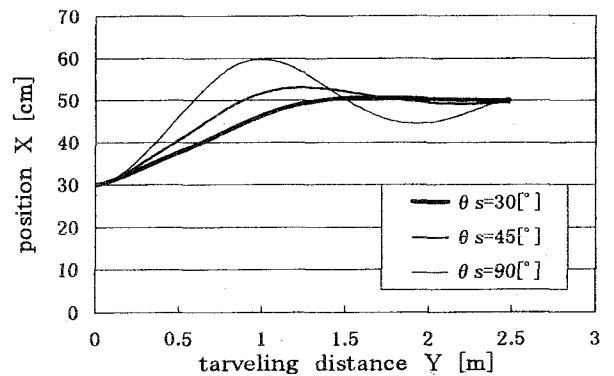


図11 姿勢角 θ のメンバーシップ関数のチューニング

なお、後件部のメンバーシップ関数の三角形の裾野の値 ΔV_s は10cm/sで良好な特性を示したが、後述する実験用ロボットに採用しているステッピングモータの特性上の制約($\Delta V_s=10\text{cm/s}$ では脱調や振動が発生した)から図7のように5cm/sとした。したがって、駆動モータにサーボモータを使えばメンバーシップ関数の選択幅は広がると思われる。

(b) 初期位置の影響

ロボットの初期位置 X_0 を壁から20cm、30cm、40cmとしてシミュレーションを行った結果を図12に示す。初期位置が目標線から離れると当然ながら、収束距離が長くなっている。しかし、注目されるのは、初期位置のずれが大きい場合でも、姿勢角が大きく変化することはなく、ある限度

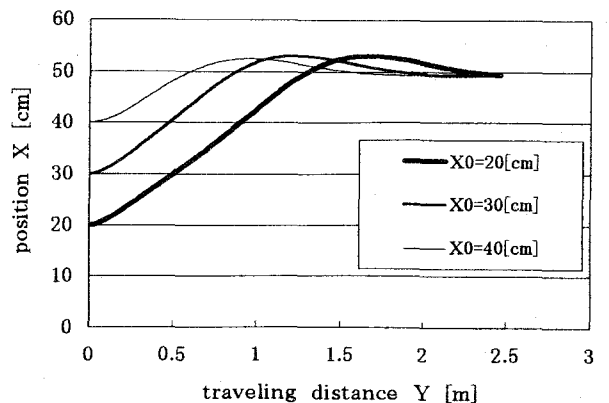


図12 初期位置の影響

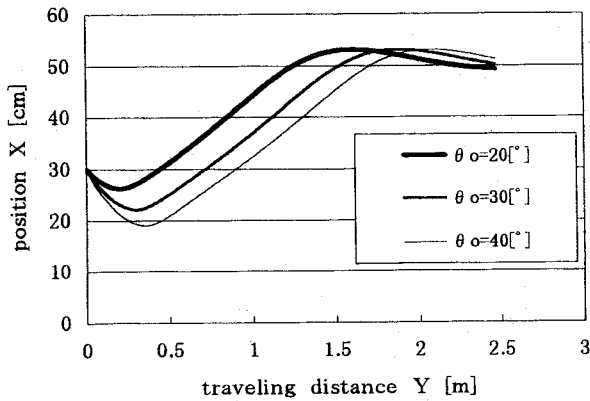


図13 初期姿勢角度の影響

内に収まっている。これは、メンバーシップ関数のうち姿勢角に関する部分の効果で、姿勢角が過度に目標経路側に切れ込むことを抑えているためである。また、ロボットの走行経路も、前述のON - OFF制御のように振動的に蛇行することはなく、目標経路に滑らかに移行している。

(c) 初期姿勢角度の影響

ロボットの初期位置を壁から30cmとして、初期姿勢角 θ_0 を 20° 、 30° 、 40° と変化させてシミュレーションを行った。結果を図13に示す。この場合は位置・姿勢角とも壁側へずれているため、動きだすとすぐに大きく姿勢を修正し目標経路へ向かっている。また、一旦目標経路側へ向くと、前記(b)の結果と同様に、姿勢角が過度に切れ込むことはなく、ほぼ一定の姿勢を保ちながら目標経路へ接近している。

(d) 壁の段差の影響

壁に凸状の20cmの段差がある場合のシミュレーション結果を図14に示す。このロボットのように側面の2つの超音波センサでロボットの向きを算出する方式においては、壁の段差は問題となる。つまり、前方のセンサが先に段差を検知すると、このセンサの指示値のみが急に小さくなり、このことはロボットにとってみれば姿勢角が壁側に向いたと錯覚することになる。この結果、位置・姿勢角ともに壁から離そうと作用し、姿勢角が壁と反対側に大きく切り込むことになり、超音波センサの測定可能範囲から外れる恐れが生じる。すなわち、図14の(b)に示すように、前方のセンサが段差を検知する $Y=0.5\text{m}$ 付近では $\Delta V=-5\text{cm/s}$ という大きな指示値を出し、このとき姿勢角は同図(c)に示すように -30° という過大な値となっている。 $Y=0.7\text{m}$ になると後方センサも段差を検知できるので、姿勢角が過大となっていることに気づき、同図(b)のように $\Delta V=2\text{cm/s}$ という命令を出し姿勢を修正している。段差部の走行制御については、今後とも改良を要するものと考えられる。

6. リアルタイム処理技術

6.1 分散処理システム

このロボットは、車輪を回すという基本的な動作以外に、図15に示すように、各センサの情報を獲得し対応動作を行ったり、この情報を用いて推論などの機能を必要とされ

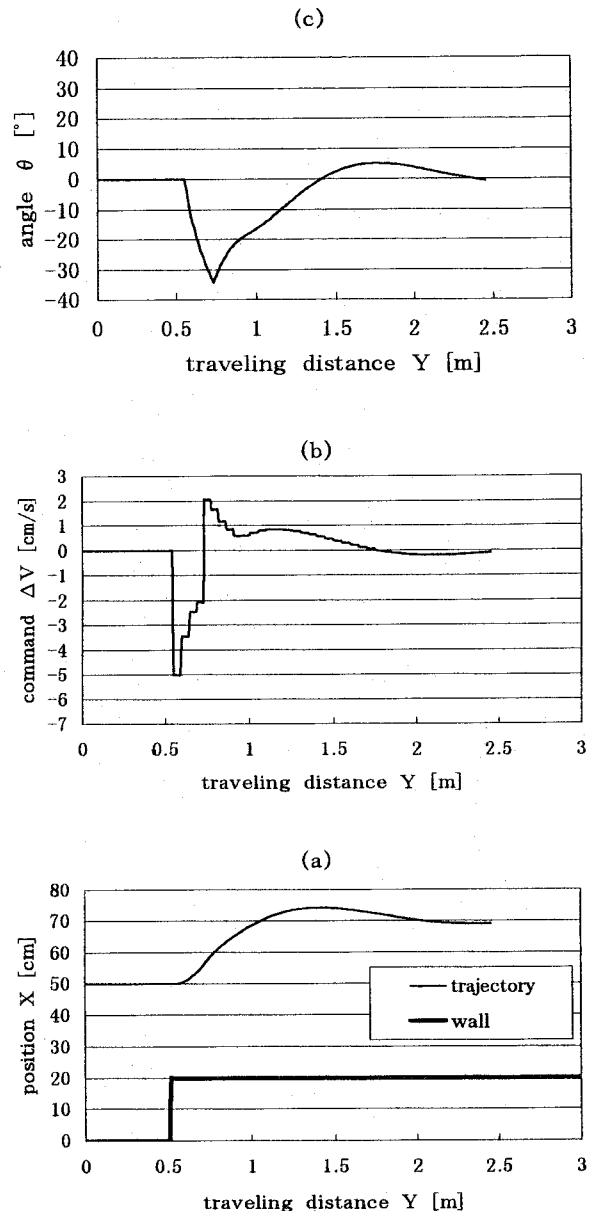


図14 壁の段差の影響

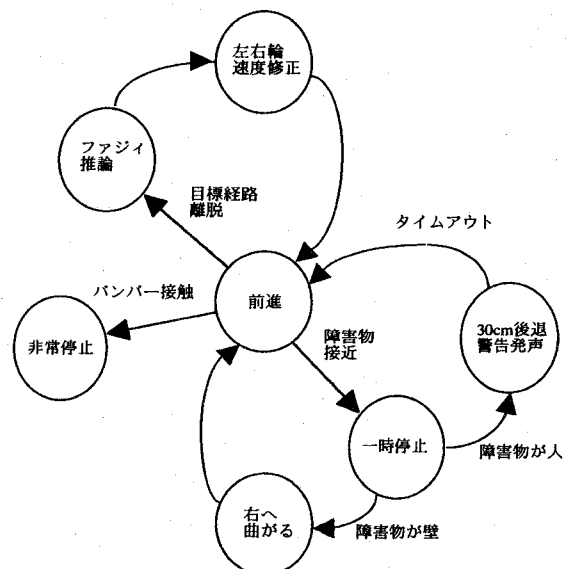


図15 ロボットの動作

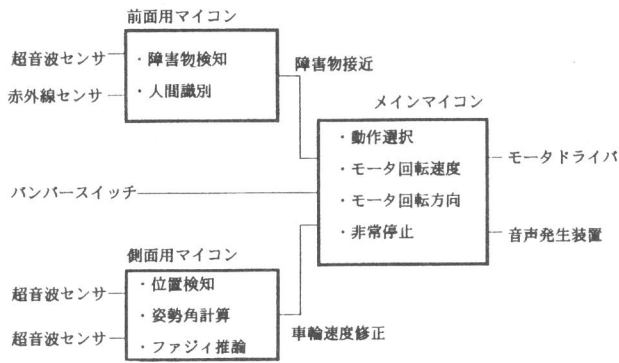


図16 分散処理システム

ている。一方、このロボットに採用している8ビットのマイコンは安価で信頼性が高いという特徴があるが、処理速度においては1個のマイコンで全ての情報をリアルタイムに処理する能力はない。そこで、本研究ではこれらのマイコンを3個設置し、タスク毎に分散処理をさせることとした。

それぞれのマイコンの主要処理項目を図16に示す。前面用マイコンは、超音波センサの情報から前方の障害物までの距離を計測し、接近したらメインマイコンへ知らせる。また、それが人間か物かを赤外線センサで識別する。側面用マイコンは、側面の2個の超音波センサが互いに干渉しないよう計測タイミングを調整するとともに、得られた距離情報からファジィ推論によって左右のモータの速度修正値を計算しメインマイコンへ指示を送る。一方、メインマイコンは通常は左右のモータを回すだけの最下層レベルの仕事をしているが、側面用マイコンや前面用マイコンから信号が来たときには、優先順位に従って動作する。なお、バンパースイッチが入るとメインマイコンの処理が止り直ちに停止する。

6. 2 階層的制御構造

分散処理システムを有効かつ能率的に機能させるため、各タスクには優先順位を設け、階層的制御構造⁽⁹⁾にしている。階層的制御構造においては、高位の動作は低位の動作を一時的に抑えることができ、命令の衝突を避けている。これにより、刻々と変化する状況にリアルタイム対応することが可能となる。また、各タスクはそれぞれが独立した動作であるから、お互いに影響することなく、プログラム開発においても、あるタスクを修正しても、それによって他の階層のプログラムを修正する必要はないなどの利点がある。また、お互いの階層間で影響がないから、新しいタスクを増やして行くことも容易となる。

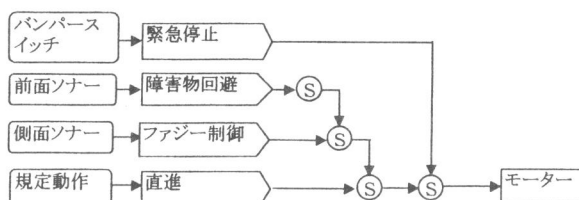


図17 階層的制御の構造

本ロボットの階層構造を図17に示す。まず、直進命令は最下層で、ファジィ制御命令、障害物回避命令、緊急停止命令の順に上位階層となっている。したがって、直進中にファジィ制御命令が入れば、それを優先させその命令に従って車輪を動かす。緊急停止命令は全ての命令より上位にあり、この命令が入ればロボットは直ちに停止する。

7. 実験用移動ロボット

実験用に製作した小型移動ロボットの外形を図18に示す。車体は2階建て構造になっており、1階部分にモータ、ドライバおよび電源等が置かれている。2階部分はセンサやマイコンを設置している。主要寸法は、全長380mm、全幅300mmで、側面の2基の超音波センサ間の距離は200mmとなっている。

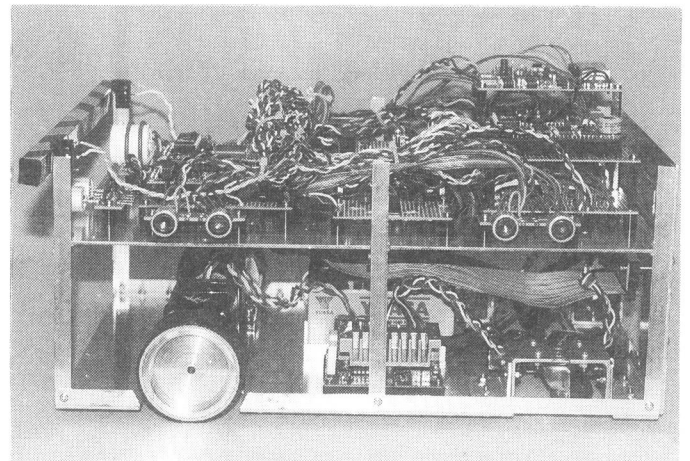


図18 ロボットの外形

このロボットのシステム構成を図19に示す。これは前記の図1と同様の構成である。駆動用モータには、マイコンでデジタル制御し易いステッピングモータを採用している。なお、電源は12Vバッテリーを2個と9V乾電池を搭載し、マイコン用の5V電源はDC-DCコンバータから供給している。

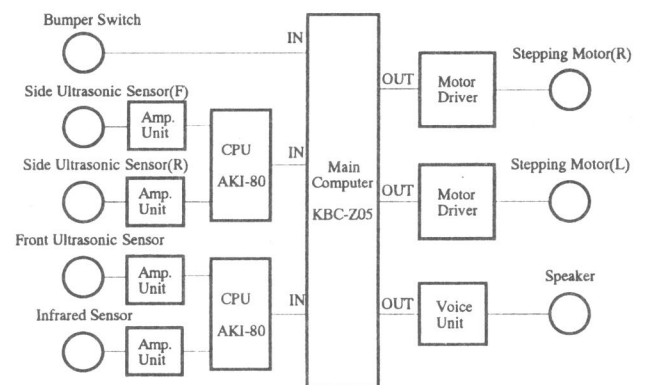


図19 ロボットのシステム構成

8. 走行実験

8. 1 ON-OFF制御による経路追従走行の実験

実験は、サンプリング周期約0.5秒、一回当たりの修正角

度 $\Delta\theta=1^\circ$ とし、初期位置は壁から70cmの条件で行った。結果を図20に示す。破線が実験結果、実線が同一条件でのシミュレーション結果である。実験でもシミュレーションと同様に振動的に蛇行する傾向であることがわかる。なお、走行距離が長くなるとタイヤのスリップのため、実走行経路はシミュレーションのものとはずれてくる。

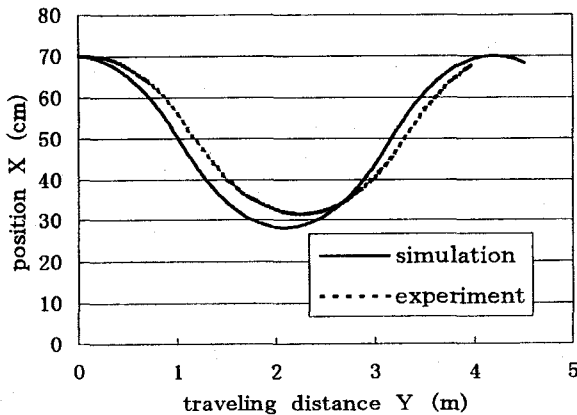


図20 ON-OFF制御による走行実験結果

8. 2 ファジィ推論による経路追従走行の実験

実験は、サンプリング周期約0.5秒、初期位置は壁から30cmの条件で行った。実験結果を図21に示す。破線が実験結果、実線が同一条件でのシミュレーション結果である。実験でもシミュレーションと同様に、滑らかに目標線に収束しており、ファジィ制御による経路追従走行のアルゴリズムの妥当性が実証できた。なお、ここでは示していないが、壁の段差部では5.2節(c)で述べたようにロボットの姿勢角が大きく変化する現象が実験でも認められた。走行は可能であったが、今後の改良課題と思われる。

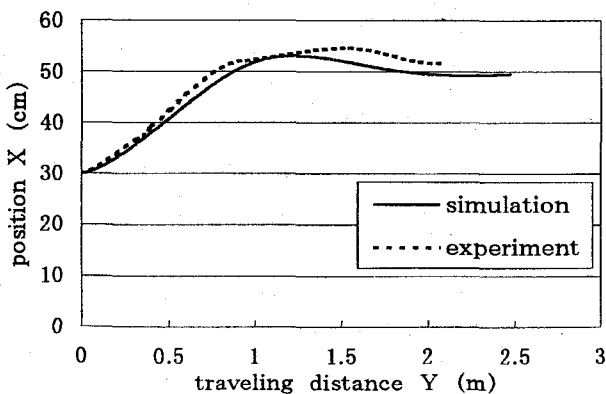


図21 ファジィ推論による走行実験結果

8. 3 分散処理システムと階層的制御方法の実証実験

図22に示すように、ロボットを壁や人間に向けて走行させ、障害物に対してロボットが所定動作を行うことを確認した。なお、赤外線センサとして焦電型センサを用いたため、人間が動いていないと検知できないという問題があったが、分散処理システム自体は正常に動作しており、このシステムの有効性を確認することができた。

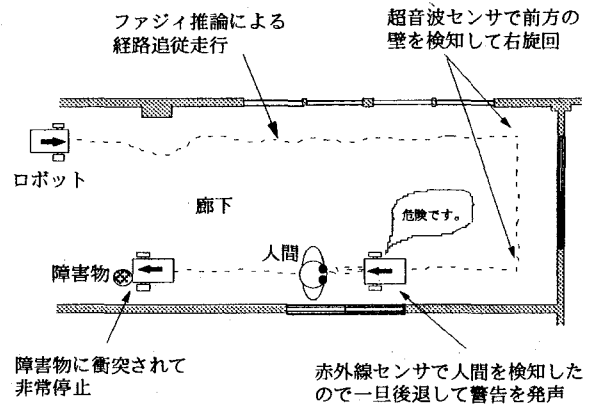


図22 走行制御の実証実験結果の概要

9. まとめ

本研究では、サービス用移動ロボットの自律移動をマイコンで実現する方法として、ファジィ推論と分散処理システム及び階層的制御手法を取り入れた走行制御システムを開発し、シミュレーションによって制御性を考察するとともに実験用移動ロボットを製作し走行実験を行った。その結果、壁の段差部における走行性については改良の余地があるものの基本的な経路追従性は良好であり、障害物に対してもリアルタイムに所定の対応動作を実現できることが確認でき、本制御システムの有効性が実証できた。

参考文献

- (1) 河野寿之・神田真司、高齢者・障害者用食事搬送自動ロボットシステム、日本ロボット学会誌、16-3、(1998)、pp.317-320
- (2) 青山元・ほか4名、自律走行式床面清掃ロボットの開発、日本ロボット学会誌、16-1、(1998)、pp.57-64
- (3) 津田高治・ほか5名、ゴミ収集用作業移動ロボット "C-LABOR"の開発、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'96講演論文集、(1996)、pp.1441-1444
- (4) 佐藤員暢・山下淳、固定経路誘導式園芸ハウス内移動ロボット、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'96講演論文集、(1996)、pp.578-581
- (5) 相良晃市・ほか2名、キャスター式位置・方位センサを用いた車輪式移動ロボットの走行制御、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'97講演論文集、(1997)、pp.521-522
- (6) 福田敏男・ほか6名、自律移動ロボットの視覚によるナビゲーションシステム、日本機械学会論文集、63-613、C(1997)、3215-3222
- (7) 菅野道夫、ファジィ制御、(1993)、日刊工業新聞社
- (8) 超音波デジタル距離計キット製作・技術マニュアル、(有)秋月電子通商
- (9) J.L.ジョーンズ・A.M.フリン著、熊切康雄訳、移動ロボット、(1996)、(株)トッパン